Aus dem Institut für Strahlenbehandlung der Kgl. Dermatol. Klinik in Kiel
(Direktor: Prof. Dr. Klingmüller).

Über die Anwendung von Strahlenfiltern in der Tiefentherapie.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen medizinischen Fakultät der Universität Kiel

vorgelegt von

Gunter Schatz,
Medizinalpraktikant aus Rostock.

Weimar.
Druck von R. Wagner Sohn.
1912.

Aus dem Institut für Strahlenbehandlung der Kgl. Dermatol. Klinik in Kiel
(Direktor: Prof. Dr. Klingmüller).

Über die Anwendung von Strahlenfiltern in der Tiefentherapie.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen medizinischen Fakultät der Universität Kiel

vorgelegt von

Gunter Schatz,
Medizinalpraktikant aus Rostock.

Weimar.
Druck von R. Wagner Sohn.
1912.

Sonderabdruck aus „Strahlentherapie“
Bd. I, Heft 4.

Nr. 79.
Rektoratsjahr 1912/13.
Referent: Prof. Klingmüller.

Zum Drucke genehmigt
Anschütz, z. Z. Dekan.

Die Entwicklung der modernen Tiefentherapie mit Röntgenstrahlen wäre nicht möglich gewesen ohne die Anwendung der sog. Strahlenfilter. Während man für Oberflächentherapie mit der Strahlung, so wie sie die Röntgenröhre verließ, gute Erfolge erzielte und nur Sorge tragen mußte, bei der Behandlung mancher Affektionen, wie z. B. Psoriasis, die Strahlen ziemlich hart zu wählen, zeigten sich große Schwierigkeiten, wenn man versuchte, tiefer gelegene Organe, z. B. maligne Tumoren oder Ovarien wirksam zu bestrahlen. Entweder man erreichte eine Tiefenwirkung und schädigte dabei die Haut, oder man verletzte die Haut nicht, bekam aber auch keine therapeutisch wirksame Strahlenmenge in die Tiefe. Die Ursachen hierfür sind ja bekannt. Zunächst nimmt die Intensität der Röntgenstrahlen, wie die der Lichtstrahlen, durch Dispersion mit dem Quadrate der Entfernung ab. Da nun die tieferen Organe stets von dem Fokus der Röhre weiter entfernt liegen als die Haut, so muß notwendig schon durch Dispersion die Tiefendosis kleiner sein als die Hautdosis, und zwar wird diese Differenz um so größer, je geringer die Fokushautdistanz ist. Ist die Fokushautdistanz groß, so kommt dagegen die Tiefenlage des zu bestrahlenden Organes unter der Haut wenig in Betracht, der Dispersionsverlust an Strahlungsintensität von der Haut zur Tiefe ist, prozentual berechnet, gering. Dafür ist aber der Dispersionsverlust auf der Strecke Fokus — Haut sehr groß, und der Betrieb wird unökonomisch. Es gilt also, einen Kompromiß zu schließen zwischen Ökonomie und Zeitaufwand auf der einen Seite und möglichst günstiger Tiefenverteilung des Lichtes auf der anderen Seite. Es wurde von Hans Meyer in der „Strahlentherapie“ schon ausgeführt, daß diese Erwägungen uns veranlaßt haben, bei Tiefenbestrahlungen den Fokushautabstand auf 20 cm festzusetzen.

Eine weitere Ursache für die oben erwähnten Schwierigkeiten liegt in der Absorption der Strahlen. Da die obersten Gewebeschichten den größten Teil der Strahlung absorbieren, so muß also auch aus diesem Grunde viel weniger Röntgenlicht in die Tiefe gelangen als auf die Haut.

Dazu kommt aber noch, daß das Röntgenlicht, so wie es die Röhre verläßt, nun durchaus nicht hinsichtlich seiner Durchdringungsfähigkeit homogen ist, sondern es ist ein Strahlengemisch, das harte und weiche Strahlen neben einander enthält. Der weiche, wenig penetrante Teil der Strahlung wird natürlich verhältnismäßig stark von der Haut absorbiert und wird hier eine starke Wirkung ausüben, da jede Wirksamkeit der Röntgenstrahlen mit der Absorption in dem durchstrahlten Körper wächst. In die Tiefe gelangt aber nur der härtere Teil der Strahlung, und vermag hier eben seiner geringen Absorption wegen nur eine relativ geringe Wirkung auszuüben.

Aus diesen Gründen war es zunächst also unmöglich, ohne Schädigung der Haut größere Röntgenlichtmengen in die Tiefe zu bringen, und es bedurfte besonderer Hilfsmittel der Bestrahlungstechnik, um ohne Schädigung der Haut eine genügende Tiefenwirkung zu erzielen. Eines dieser Hilfsmittel ist die Filtrierung. Die Beobachtung lehrt nämlich, daß man wesentlich größere Strahlenmengen der Haut zumuten kann, wenn man zwischen Röhre und Körper ein Aluminiumblech oder ein anderes geeignetes Strahlenfilter bringt.

Die Wirkung der Strahlenfilter beruht im wesentlichen auf der Erscheinung, daß die meisten als Filter verwendeten Materialien die Eigenschaft haben, die weichen Strahlen des von der Röhre ausgesandten Strahlengemisches stärker zu absorbieren als die harten, sodaß die passierende Strahlung durchschnittlich härter und dabei homogener ist als die ursprüngliche. Je mehr aber die weiche Strahlung aus dem Strahlengemisch entfernt, also „filtriert“ wird, und je mehr die harte Strahlung in diesem überwiegt, desto günstigere Verhältnisse werden wir für die Tiefentherapie erzielen. Als weiteres Moment kommt hinzu, daß die primäre Strahlung in jedem durchstrahlten Körper eine Sekundärstrahlung erzeugt, die nun wiederum bei den meisten zur Verwendung kommenden Filtermaterialien sehr hart ist, also die Gesamtstrahlung noch härter macht. So kommt es, daß wir bei der Anwendung der Strahlenfilter der Haut, die sonst der Ort der stärksten Strahlenabsorption wäre, durch Abfiltrieren der weichen Strahlen diese Rolle abnehmen, sie also wesentlich entlasten und andererseits eine für die Tiefentherapie geeignetere, nämlich penetrationsfähige und homogene Gesamtstrahlung schaffen.

Wie hart wir nun am besten die Strahlung bei den Tiefenbestrahlungen wählen, das hat Christen in seinen grundlegenden Arbeiten gezeigt, auf deren Ergebnissen wir unsere röntgentherapeutischen Methoden aufbauen müssen. Zur Charakterisierung einer der Einfachheit halber als homogen angenommenen Strahlung führt Christen als absolutes Maß den Begriff der Halbwertschicht ein, worunter er die Dicke einer Gewebe-

schicht versteht, welche von einer gegebenen Strahlung gerade die Hälfte absorbiert. Da diese Schichtdicke, die von der Intensität der Strahlung natürlich ganz unabhängig ist, mit ihrer Härte wachsen muß, so entspricht jeder Strahlenhärte eine bestimmte Halbwertschicht, die in Zentimetern meßbar ist. Christen zeigte nun, daß man für die Tiefenbestrahlungen die günstigsten Absorptionsverhältnisse bekommt, wenn man eine Strahlung verwendet, deren Halbwertschicht gleich der Dicke der über dem zu bestrahlenden Organ gelegenen Gewebeschichte ist. In diesem Falle wird ein relativ großer Bruchteil der Gesamtstrahlung in der Tiefe absorbiert, dabei verhält sich die Oberflächendosis zur Tiefendosis wie 2 : 1. Wählen wir eine um ein geringes weichere Strahlung (deren Halbwertschicht $^7/_{10}$ der Tiefe des Organes ist), so erhalten wir zwar in der Tiefe noch etwas mehr Strahlenabsorption, dafür aber auch gleich viel mehr Oberflächenwirkung, sodaß die Oberflächendosis sich zur Tiefendosis verhält wie 2,7 : 1. Dieses Verhältnis wird bei noch weicherer Strahlung rapid ungünstiger, da nicht nur die Oberflächendosis stark zunimmt, sondern auch die Tiefendosis erheblich sinkt. Nehmen wir andererseits eine härtere Strahlung als jene, deren Halbwertschicht der Tiefe des zu bestrahlenden Organes entspricht, so nimmt zwar das Verhältnis der Oberflächen- zur Tiefendosis noch weiter ab, was ja an sich günstig ist, aber auch die Tiefendosis selbst sinkt ziemlich rasch, sodaß man dann auch in der Tiefe wieder kleinere Mengen zur Absorption bringt, also unökonomisch arbeitet.

Voraussetzung für diese Berechnung ist natürlich, daß wir mit einer möglichst homogenen Strahlung arbeiten, wie wir sie durch entsprechende Filtrierung erlangen können.

Zweierlei ist es nun, was bei der Filterwirkung zu berücksichtigen ist, die Wahl des Filtermaterials und die Wahl der Filterdicke.

Die Frage, welches das geeignetste Material für die Filtrierung der Strahlen ist, ist eine der lebhaftest diskutierten Fragen der röntgentherapeutischen Methodik. Wie sehr die Meinungen hier auseinandergehen, und wie wenig dieses Problem geklärt ist, geht am besten aus den Verhandlungen des diesjährigen Röntgenkongresses hervor.

Da das Filter der Haut die Arbeit des Abfiltrierens der weichen Strahlen abnehmen soll, so lag der Gedanke nahe, eine Substanz zu nehmen, die in ihrem Aufbau der menschlichen Haut möglichst ähnlich ist. Eine solche Substanz haben wir in dem Leder, das von zahlreichen Autoren (Albers-Schönberg, Walter, Wetterer, Holzknecht, Kienböck, Morton, Pfahler, Schamberg u. a.) empfohlen wurde. Albers-Schönberg empfielt Ziegenleder in 4—6 mm dicker Schicht für gynäkologische Bestrahlungen, Wetterer weiches Rehleder in 4—5facher Schicht. Walter kam auf Grund seiner Versuche zu der Annahme, daß die Röntgen-

strahlung bei der Durchstrahlung eines Körpers derartig verändert wird, daß sie ganz allgemein für jeden beliebigen Körper ein größeres Durchdringungsvermögen, in ganz hervorragendem Maße aber ein solches für Atome derselben Art erhält. Hiernach muß das Leder besonders geeignet sein, da es der Haut ähnlich ist und also die Strahlen für eine leichte Passage durch die Haut vorbereitet. Belot dagegen ist der Ansicht, daß Leder nicht als Filter geeignet sei, da es einen großen Bruchteil der Strahlung absorbiere, ohne sie merklich zu härten. Kienböck wiederum nimmt für Tiefenbestrahlungen ein 1 cm dickes Sohlenleder.

Das Filtermaterial, das neben dem Leder am meisten empfohlen und angewandt wird, so von Belot, Bordier, Walter, Meyer u. a., ist das Aluminium. Bordier z. B. hält es für das geeignetste Material, weil es ein Maximum an penetranten Strahlen durchlasse. Auch Walter empfiehlt es neuerdings vor allen Filtern wegen seiner günstigen physikalischen Eigenschaften, vor allem gegenüber Silber und Stanniol. Wir verwenden es je nach der Tiefenlage des zu bestrahlenden Organs und je nach dem Grade der Strahlenhärtung, die erzielt werden soll, in 0,5—4 mm Dicke, Belot in 0,5—5 mm Dicke, Bordier in 0,5, 1 und 1,5 mm Dicke.

Ein weiteres, sehr wichtiges Filtermaterial ist das Glas. Es wird besonders von Guilleminot, Holzknecht, Heinemann, Dessauer, Wetterer u. a. empfohlen. Albers-Schönberg hat Glas nicht verwandt, da sich dabei die Bestrahlungsdauer zu sehr in die Länge zog. Das Glas ist bis zu ähnlichen Schichtdicken wie das Aluminium in Anwendung gebracht. Auch Bleiglas ist versucht, hat aber, wie Dorn hervorhebt, den Nachteil, durch sehr starke Absorption die Bestrahlungsdauer außerordentlich zu verlängern.

Als weiteres Filtermaterial ist das namentlich von v. Jaksch empfohlene Silber zu nennen. v. Jaksch verwendet es in einer Dicke von 0,01 mm und 0,02 mm und gibt an, daß hierdurch Schädigungen bei Dauerbestrahlungen ganz vermieden werden, sodaß die Anwendung von Dosierungsapparaten unnötig sei. Auch Dessauer hat auf dem Röntgenkongreß sich für dieses Filter ausgesprochen.

Schließlich ist noch das Stanniol in mehrfacher Schicht als Filtermaterial angewandt worden, besonders auch in Verbindung mit Leder (von Albers-Schönberg u. a.). Neuerdings scheint man mehr davon abgekommen zu sein. Man sieht, daß die Meinungen, welches das beste Filtermaterial für die Tiefenbestrahlungen sei, und in welcher Schichtdicke man es anwenden solle, durchaus geteilt sind. Es wurde daher in der vorliegenden Arbeit der Versuch gemacht, durch Prüfung verschiedener Filternarten und Filterdicken einige Anhaltspunkte zu ge-

winnen, nach denen ein Vergleich zwischen ihrer Brauchbarkeit gezogen werden kann.[1])

Um die genannten Vergleiche auszuführen, mußte natürlich zunächst die Härte der primären und der gefilterten Strahlung möglichst genau bestimmt werden. Um solche Härtemessungen auszuführen, stehen uns ja heute eine ganze Reihe sehr brauchbarer Methoden zur Verfügung. Wir wählten zunächst das Instrument nach Benoist-Walter, das schon seit Jahren an unserem Institut wegen der Leichtigkeit, mit der die Ablesung möglich ist, und wegen der gleichmäßigen Zuverlässigkeit seiner Angaben stets unschätzbare Dienste geleistet hat, ferner den absoluten Härtemesser von Christen und schließlich das Sklerometer von Klingelfuß. Einige Bemerkungen über dieses letztere Instrument seien hier eingefügt.

Klingelfuß ging ja bei der Konstruktion seines Sklerometers von besonderen Grundlagen und Experimenten aus. Er konnte zeigen, daß das, was wir an den Enden der Spule als Funkenpotential messen können, in der Hauptsache durch die unkontrollierbare Spannung der Oberschwingungen beeinflußt wird, welche die Jonisierungsarbeit in der Röhre vollziehen, nach der dann mit wesentlich geringerer Spannung die elektrische Entladung stattfindet, die allein für die Erzeugung von Kathoden- und Röntgenstrahlen in Betracht kommt. Die Oberschwingungen treten nur an den Spulenenden auf, da sie sich wegen der hohen Selbstinduktion nicht nach der Spulenmitte fortpflanzen können. Wenn man nun an eine Anzahl von Windungen in der Spulenmitte, deren Zahl zu der Gesamtzahl der sekundären Windungen in einem bestimmten Verhältnis steht, einen Spannungsmesser anschließt, so kann man aus seinen Ausschlägen direkt die Spannung im sekundären Stromkreis mit Ausschluß der Oberschwingungen ermitteln. Da nun aber von dieser Spannung das Kathodenstrahlengefälle und damit die Qualität der emittierten Röntgenstrahlung abhängt, so war es Klingelfuß als erstem gelungen, auf indirektem Wege, mit Hilfe eines Spannungsmessers, die Röntgenstrahlenhärte exakt und physikalisch richtig zu messen.

Es schien zunächst einmal von Wichtigkeit, die Angaben des Sklerometers mit den beiden Instrumenten nach Christen und Benoist-Walter auf Grund direkter Messungen zu vergleichen.

Es wurde bei diesen, wie bei allen späteren Versuchen im verdunkelten Zimmer gearbeitet und die Versuchsanordnung so getroffen, daß der Ablesende gegen Strahlen durch eine Bleiwand absolut geschützt war, also in voller Ruhe sorgfältig ablesen konnte. Alle Ablesungen wurden wiederholt ausgeführt und meistens von einem zweiten Beobachter nachgeprüft.

Folgende Werte entsprechen einander.

---

[1]) Die Arbeit wurde in der Königlichen Dermatologischen Klinik in Kiel ausgeführt. Für die liebenswürdige Unterstützung, die er mir dabei zu Teil werden ließ, möchte ich Herrn Dr. Hans Meyer auch an dieser Stelle danken.

Tabelle 1.

Sklerometer	Halbwertschicht	Benoist-Walter
40	0,6—0,7	3 —
45	0,7—0,8	3 +
50	0,8	$3^1/_2$
55	0,8	4
60	0,9	$4^1/_4$
65	1	$4^1/_2$
70	1	5
75	1	5
80	1 +	5
85	1,2	5
90	1,2	5 +
95	1,2	5 +
100	1,2	$5^1/_4$
105	1,2	$5^1/_2$
110	1,2 +	$5^3/_4$
115	1,2—1,4	6 —
120	1,4	6 —
125	1,4	6
130	1,4—1,6	6
135	1,4—1,6	6
140	1,4—1,6	6

Die sekundäre Stromstärke war entsprechend den Vorschriften von Klingelfuß, gemessen am Milliampèremeter, stets zwischen 0,5 und 3 M.A., meist 1 M.A. Wenn man die vorliegende Tabelle übersieht, leuchtet ohne weiteres der große Vorteil des Klingelfußschen Sklerometers ein, der darin besteht, daß seine Schwankungen mit wechselnder Röhrenhärte viel ausgiebiger sind und eine viel genauere Bestimmung erlauben, als die wenigen Stufen der übrigen Instrumente. So z. B. entsprechen die Sklerometerablesungen 85—110, also 35 Teilstriche, nur einer einzigen Stufe am absoluten Härtemesser, und ähnlich liegen die Verhältnisse beim Instrument von Benoist-Walter. Dazu kommt als weiterer Vorteil, daß man mittels des Sklerometers eine dauernde zuverlässige Kontrolle der Strahlenhärte während des Betriebes ausüben kann, was ja bei den anderen Instrumenten nicht möglich ist, und daß das Sklerometer ein Zeigerinstrument ist, dessen Angaben keinen subjektiven Irrtümern unterliegen, die bei den Vergleichsskalen natürlich nicht in dem Maße ausgeschaltet werden können.

Wollen wir nun aber die Röntgenstrahlenhärte bestimmen, nachdem sie ein Filter passiert hat, so ist hierzu natürlich das Sklerometer ohne weiteres nicht brauchbar. Hier sind dann die Instrumente, welche direkt an der Strahlung selbst ihre Härte messen, unentbehrlich; vor allem wurde der absolute Härtemesser nach Christen genommen, da seine Angaben

auch für höhere Härtegrade der filtrierten Strahlung ausreichen, wo die Benoist-Walter-Skala schon zu Ende ist.

Um nun die Wirkung von Aluminium, Glas, Leder und Silber als Filtermaterial zu vergleichen, war es zunächst nötig, in verschiedenen Versuchsreihen die Härte der filtrierten Röntgenstrahlung bei gleichbleibender sekundärer Stromstärke und Stromspannung mit dem absoluten Härtemesser zu bestimmen und zu vergleichen. Die sekundäre Stromspannung wurde an einem Klingelfuß schen Instrumentarium mit dem Sklerometer bestimmt. Die Röntgenröhre wurde in den Versuchen mit einer Spannung Sklerometer 125 — 130 betrieben (gemessen = 6 BW) und mit einer Stromstärke von 0,8 M.A. Dabei zeigte die Strahlung ohne Filter die Halbwertschicht 1,4 — 1,6.

Die Messung ergab folgendes

für Aluminiumfilter:

Tabelle 2.

Filter	Halbwertschicht
0,5 mm Aluminium	1,8
1 „ „	2
2 „ „	2,25
3 „ „	2,25—2,5
4 „ „	2.5
5 „ „	2,5
6 „ „	2,5
7 „ „	2,5 +
8 „ „	2,5—3

Für Glasfilter ergaben sich folgende Werte:

Tabelle 3.

Filter	Halbwertschicht
0,75 mm Glas	1,8
1,5 „ „	2,0
2 „ „	2,0 – 2,25
3 „ „	2,25
4 „ „	2,25
5 „ „	2,25—2,5
6 „ „	2,5
7 „ „	2.5
8 „ „	2,5
10 „ „	2,5
30 „ „	2,5

Bei Zwischenschaltung von Rindlederfiltern (spez. Gewicht des Leders war 1.02) wurden folgende Halbwertschichten abgelesen:

Tabelle 4.

Filter	Halbwertschicht
10 mm Leder	1,8
15 „ „	2,0
20 „ „	2,0
30 „ „	2,25
40 „ „	2,25
50 „ „	2,5 —
60 „ „	2,5 +

Aus diesen Tabellen ist zunächst ersichtlich, daß bei Filtrierung der Strahlen mit Aluminium, Glas und Leder die Halbwertschicht ziemlich gleichmäßig so ansteigt, daß für jede Halbwertschicht das Verhältnis der Filterdicke bei den einzelnen Materialien annähernd das gleiche ist. Wir härten z. B. die Strahlung mit 0,5 mm Aluminium auf 1,8. Dem entspricht 0,75 mm Glas. Nehmen wir die doppelten Werte, so erhalten wir die gleichen Halbwertschichten: 2, bei Vervierfachung der Schichtdicken: 2,25 usw. Dasselbe ist der Fall bei

Vergleich von Lederfiltern und Aluminiumfiltern. Auch hier bekommen wir bei Verdoppelung die Halbwertschicht 2, bei Vervierfachung 2,25.

Ferner zeigt sich, daß, wenn man bei der gegebenen harten Strahlung die Halbwertschicht 2,5 erreicht hat, ein weiteres Vorschalten von Filtern keinen Zweck hat, weil erst bei sehr starken Filterschichten die Halbwertschicht etwas weiter ansteigt. Bei den von uns betriebenen Röhren konnte aber in keinem einzigen Falle die Halbwertschicht 3 erreicht werden (bei den Glasfiltern wurde sogar durch Filtrierung mit 3 cm dickem Glas die Halbwertschicht 2,5 nicht überschritten).

Der Grund für diese Erscheinung liegt wohl darin, daß härtere Strahlen als mit der Halbwertschicht 2,5 in größeren Umfange in der Röhre nicht erzeugt wurden, es ist also klar, daß von dem Augenblick an, wo durch Vorschaltung von dicken Filtern das Strahlungsgemisch durch Absorption aller weicheren Strahlen praktisch homogen geworden ist, weiteres Vorschalten von Filtern keinen härtenden Einfluß mehr haben kann.

Unter diesem Gesichtspunkt war es von Interesse, die Filterwirkung an einem Strahlengemisch zu studieren, das durch eine sekundäre Stromstärke von 10 M.A. an einem Hochspannungsgleichrichter ausgelöst wurde, da anzunehmen war, daß dieses Gemisch einen größeren Gehalt an penetrationskräftigen Strahlen hat, und ferner schien es uns von Bedeutung, auch die Filterwirkung bei geringerem Härtegrad der primären Strahlung zu verfolgen, um die für die Praxis günstigsten Verhältnisse zu ermitteln.

Was zunächst den letzten Punkt anlangt, so verglichen wir die Filterwirkung bei primären Strahlenqualitäten vom Sklerometergrad 50, 90, 115 und 130, wobei die Härte der filtrierten Strahlung sowohl mit dem Benoist-Walter wie mit dem Christenschen Instrument bestimmt wurde. Das Ergebnis lehrt die Tabelle 5:

Tabelle 5.

Sklerometer	50		90		115		130	
ohne Filter	Benoist-Walter $3\frac{1}{2}$	Halbwertschicht 0,8	Benoist-Walter 5 + —	Halbwertschicht 1,2	Benoist-Walter 6 —	Halbwertschicht 1,2–1,4	Benoist-Walter 6 —	Halbwertschicht 1,4–1,6
1 mm Aluminium	4	1,2	6	1,8	6	1,8–2,0	6	2,0
2 „ „	$4\frac{1}{2}$	1,4	6 +	2.0	6 +	2,0	6 +	2,25
3 „ „	5	1,4	6 +	2,0	6 +	2,0–2,25	6 +	2,25–2,5
4 „ „	$5\frac{1}{4}$	1,6	6 +	2,0–2,25	6 +	2,25	6 +	2,5
8 „ „	6 +	—	6 +	2,0–2,25	6 +	2,5	6 +	2,5–3
1,2 mm Glas	4	1,2	6	1,8	—	1,8–2.0	—	2.0
15 mm Leder	4	1,2	6	1,8	—	1,8–2,0	—	2,0
31 mm „	$4\frac{1}{2}$	1,4	6 +	2,0	—	2, 0 +	—	2,25

Aus diesen Beobachtungen geht wohl mit Sicherheit hervor, daß die primäre Strahlenhärte von großer Bedeutung ist. Bei einer Strahlenhärte von Sklerometer 50 = Benoist-Walter $3^1/_2$ erhalten wir z. B. durch eine Filtrierung mit 4 mm Aluminiumfiltern eine Strahlung vom Typus HW 1,6, bei Sklerometer 90 etwas über 2,0, bei Sklerometer 115 wird die Strahlung gehärtet auf 2,25 und erst bei Sklerometer 130 = BW 6 haben wir eine Strahlung mit der Halbwertschicht 2,5. Da also bei weicherer primärer Strahlung auch durch starke Filtrierung kein hoher Härtegrad der filtrierten Strahlung zu erreichen ist, so ist es natürlich am rationellsten, bei den Filterbestrahlungen die Röhren möglichst hart zu betreiben, und zwar nicht unter Halbwertschicht 1,5. Die Wahl einer geringeren primären Strahlenhärte hat zur Folge, daß man, um auf dieselbe Strahlenhärte zu kommen, eine größere Filterstärke anwenden muß, als bei höherem primären Härtegrad, wobei der große Nachteil entsteht, daß dadurch ein viel größerer Bruchteil der Gesamtstrahlung in den dickeren Filtern absorbiert sind, der Betrieb sich also unökonomisch und unrationell gestalten muß.

Weiter schien es von Interesse, das Verhältnis der primären Strahlenhärte zur Härte der filtrierten Strahlung bei einer mit hoher sekundärer Stromstärke (10 M.A.) betriebenen Röntgenröhre zu messen.

Tabelle 6.

Filter	Halbwertschicht
ohne Filter	1,8 +
0,5 mm Aluminium	2,0 +
1 „ „	2,25
2 „ „	2,25—2,5
3 „ „	2,5
4 „ „	2,5 +

Wie zu erwarten, war hier die primäre Strahlenhärte wesentlich größer als bei den mit geringerer Belastung betriebenen Röhren und dementsprechend konnten hier schon mit geringeren Filterdicken die gleichen Halbwertschichten erreicht werden, wie sonst mit stärkeren Filtern, so wurde z. B. die Halbwertschicht 2,5 mit 3 mm Aluminiumfiltern erzielt, die man mit schwächerer Belastung erst mit 4 mm Aluminiumfiltern erreicht.

Es steht also außer allem Zweifel, daß bei den hohen Belastungen für die Filtrierung der Strahlen und damit für die Tiefentherapie günstigere Verhältnisse geschaffen werden, da eben in diesen Fällen das primäre Strahlengemisch einen größeren Gehalt an penetrationsfähigen Strahlen aufweist. Der Unterschied ist allerdings, wie aus diesen Messungen hervorgeht, nicht sehr bedeutend.

Wie schon oben erwähnt, ist die Filtrierung der Strahlen an eine Grenze geknüpft. Diese liegt bei den von uns geprüften Strahlengemischen beim Aluminium bei einer Filterdicke von 4 mm, beim Glas bei einer

solchen von 5 mm, beim Leder bei einer Dicke von 5 cm; ein Vorschalten von noch dickeren Filtern ist zwecklos. Es verbietet sich aber auch wegen der allzugroßen Abschwächung der Strahlungsintensität. Walter hat festgestellt, daß durch ein 5 mm starkes Aluminiumfilter bei einer Röhrenhärte von 6—7 W die Intensität der Strahlung auf 12% ihres ursprünglichen Wertes sinkt. Die Abschwächung der Strahlungsintensität zeigt sich in der Praxis in der Verlängerung der Expositionszeit, die bis zur Erreichung einer Sabouraudosis vergeht. So bekommt man z. B. in einem Versuche bei völlig gleichmäßigem Betriebe einer Röhre vom Typus BW 6, also bei völlig gleichbleibender sekundärer Spannung und Stromstärke, nach Vorschaltung verschieden dicker Aluminiumfilter folgende Zeiten, die in Tabelle 7 niedergelegt sind:

Tabelle 7.

Expositionsminuten	Filterdicke
4,5	0
6	0,5 mm Aluminium
10	1 „ „
13	2 „ „
16	3 „ „
20	4 „ „

Aus diesem Versuche ergibt sich, daß wir bei Vorschaltung von 4 mm Aluminium $4^1/_2$ mal so viel Zeit aufwenden müssen, um den Sabouraudeffekt zu bekommen. Von besonderem Interesse war nun, daß in einem ähnlich angestellten Versuch mit hoher Belastung (10 M.A.) die Expositionszeiten ohne Filter und nach Einschaltung eines 4 mm Aluminiumfilters in demselben Verhältnis zu einander standen. Es scheint also, als wenn wir in beiden Fällen einen gleich großen Anteil aus dem Gesamtstrahlengemisch herausschneiden, nämlich nicht ganz $^4/_5$: in dieser Beziehung bietet die Erhöhung der Belastung keine Vorteile.

Von großem praktischen Interesse war nun die Frage, welche Filterdicken bei den einzelnen Materialien sich genau entsprechen, sich äquivalent sind. Dafür hatten uns schon die Bestimmungen der Halbwertschichten der filtrierten Strahlen einen Anhaltspunkt gegeben, es schien uns aber zweckmäßig, darüber noch genauere Untersuchungen anzustellen. Zu diesem Zwecke wurden zunächst eine größere Anzahl Röntgenaufnahmen gemacht, indem rechteckige Stücke dieser Filter in verschiedener Dicke nebeneinander auf die photographische Platte gelegt und mit einer Röhre vom Typus BW 6 bestrahlt wurden. Es wurden dann die Dicken des Glases und des Leders solange variiert, daß sie, verglichen mit 1 mm Aluminium, genau gleiche Schwärzung der Platte darunter ergaben. Da hierbei die primäre Strahlung für dieselbe Platte stets identisch war, so mußte höchstwahrscheinlich die Zusammensetzung der Strahlung, welche die Filter passiert hatte, ebenfalls gleich sein. Die äquivalenten Werte, die sich so ergaben, waren 1 mm Aluminium,

1,2 mm Glas und 13 mm Rindleder. Um weiter zu prüfen, ob gleicher chemischer Oberflächenwirkung auch gleiche Tiefenwirkung entsprach, wurden eine weitere Serie von Röntgenaufnahmen gemacht, nachdem zwischen Filter und photographische Platte ca. 3 cm dicke Stücke Bakelit gelegt wurden. Dieser Stoff, der ja in dem Christenschen Halbwertschichtinstrument Verwendung gefunden hat, hat gleiche Absorptionskraft wie destilliertes Wasser und also auch wie tierisches Gewebe. Es ergab sich, daß die filtrierte Strahlung auch nach Passieren der Bakelitschicht in allen drei Fällen wieder genau denselben photographischen Effekt hervorrief.

Weitere Versuche über die chemische Wirksamkeit der so filtrierten Strahlen wurden mit Sabouraud-Tabletten angestellt. 3 solcher Tabletten wurden dicht neben einander liegend, jede mit einem der Filter bedeckt, der Strahlung einer Röhre vom Typus BW 6 ausgesetzt. Das Resultat, in mehreren Versuchen kontrolliert, war, daß unter allen 3 Filtern die Sabourauddosis in genau gleicher Zeit erreicht wurde.

Die Wirkung der Strahlung, welche ein 1 mm dickes Aluminiumfilter oder ein 1,2 mm dickes Glasfilter oder ein 13 mm dickes Rindleder passiert hatte, war also bezüglich der chemischen Wirkungen auf die photographische Platte und auf die Sabouraud-Pastille, sowie gemessen an den Härtemessern von Christen und Benoist-Walter identisch. Es sollte nun festgestellt werden, ob diese Strahlungen auch biologisch identisch waren. Zu diesem Zwecke wurden Untersuchungen an keimenden Erbsen und an der Haut angestellt.

Meyer und Ritter hatten gefunden, daß der wachstumshemmende Einfluß der Strahlen auf Erbsenkeimlinge mit der applizierten Dosis ziemlich genau parallel geht. In meinen Versuchen wurde nun so verfahren, daß je 2 Kästchen mit Erbsenkeimlingen immer gleichzeitig bestrahlt wurden, wobei die Röhre so aufgestellt wurde, daß beide Kästchen gleich viel Strahlen erhielten. Das eine Kästchen wurde jeweils mit 1 mm Aluminiumfilter bedeckt, das andere abwechselnd in dem ersten Versuch mit 13 mm Leder, in dem zweiten mit 1,2 mm Glas. So ergab sich für Leder und Glas immer je eine Anzahl mit genau gleicher Flächenenergie bestrahlter Erbsen zum Vergleich. Nach der Bestrahlung wurden dann die beiden zu vergleichenden Erbsenserien mit den unbestrahlten Kontrollen immer in dasselbe Beet gepflanzt (nur die in dasselbe Beet gepflanzten Keimlinge lassen sich vergleichen).

In genau derselben Weise wurden nun auch Tiefenbestrahlungen ausgeführt, indem wieder zwischen Filter und Erbsen Bakelitstücke von ca. 3 cm Dicke dazwischen geschaltet wurden.

Die Resultate der Versuche mit den Erbsenkeimlingen waren folgende:

Die mit Leder, Glas und Aluminiumfiltern bestrahlten Erbsen zeigten durchaus gleichmäßige Wachstumshemmung, was aus folgenden Tabellen hervorgeht.

Tabelle 8.

Grad der Wachstumshemmung der bestrahlten Keimlinge gegenüber Kontrollpflanzen.

	Beet I. Erbsen, bestrahlt unter		Beet II. Erbsen, bestrahlt unter	
	Lederfilter	Aluminiumfilter	Glasfilter	Aluminiumfilter
Nach 9 Tagen	31 %	27 %	23 %	18 %
Nach 17 Tagen	23 %	24 %	22 %	22 %

Keimlinge unter 3 cm Bakelit bestrahlt.

	Beet III. Erbsen, bestrahlt unter		Beet IV. Erbsen, bestrahlt unter	
	Lederfilter	Aluminiumfilter	Glasfilter	Aluminiumfilter
Nach 8 Tagen	38 %	40 %	40 %	43 %
Nach 16 Tagen	41 %	47 %	51 %	51 %

Die in diesen beiden Tabellen angegebenen Werte zeigen eine sehr gute Übereinstimmung zwischen der Wirkung der Leder- und Glasfiltrierung einerseits und dem immer zum Vergleich dienenden Aluminium andererseits. Geringe Differenzen, bis höchstens 6 %, die aber, wie man sieht, nicht gesetzmäßig auftreten, sind durch die beschränkte Genauigkeit der Längenbestimmung so junger Pflänzchen zur Genüge erklärt. Es kann also aus den Versuchen geschlossen werden, daß die an Erbsenkeimlingen gemessene biologische Oberflächen- und Tiefenwirkung gleicher Röntgenstrahlung, filtriert durch 13 mm Leder, 1,2 mm Glas und 1 mm Aluminium bei Wahl einer Strahlenqualität, wie wir sie für Tiefenbestrahlungen brauchen: BW 6 identisch ist.

Während sich nun eine gleiche Tiefenwirkung ebenso verschieden filtrierter Strahlen beim Menschen nicht ohne weiteres nachweisen läßt, ist natürlich die Oberflächenwirkung der verschieden gefilterten Strahlung an der Menschenhaut leicht zu vergleichen.

Diese Vergleiche waren um so mehr notwendig, als ja gerade im Hinblick auf die Walterschen Untersuchungen die Möglichkeit vorlag, daß eine Superiorität des Lederfilters, als eines der menschlichen Haut gleichartigen Materials, gegenüber den anderen Filtermaterialen bestand.

Die Bestrahlungen wurden meist in der Weise ausgeführt, daß 3 kleine um einen Mittelpunkt angeordnete und durch Bleistreifen getrennte Haut-

quadranten mit je einem der Filter bedeckt wurden, wobei wiederum die Röntgenröhre so aufgestellt wurde, daß alle 3 Quadranten gleichmäßig bestrahlt wurden mit Dosen, die zu leichten Erythemen führten. Das Ergebnis war, daß sowohl die Primär- wie auch die Sekundärerytheme sich bei denselben Patienten völlig gleich verhielten (bei zweien dieser Patienten waren vielleicht die unter Leder bestrahlten Stellen um ein geringes stärker gerötet als die anderen). Ein Unterschied in der Wirkung auf die Haut war bei den verwendeten Filtermaterialien nicht zu verzeichnen, was ja nach dem Ausfall der Bestrahlungsversuche mit Erbsenkeimlingen auch zu erwarten war. Speziell das Lederfilter erwies sich in diesen Versuchen als nicht überlegen.

In den bisher geschilderten Untersuchungen war Leder, Glas und Aluminium als Filtermaterial geprüft worden. Es war natürlich nun auch von Wichtigkeit, das Silber als Filtermaterial zu erproben, namentlich nachdem dasselbe in letzter Zeit wiederholt warm empfohlen worden ist. Die physikalischen Eigenschaften des Silbers lassen ja von vornherein schon einige Zweifel an seiner Zweckmäßigkeit als Filtermaterial aufkommen, wie ja auch von Walter hervorgehoben wurde.

Wenn man sich daran erinnert, daß die Absorption der Röntgenstrahlen in einem Körper zunimmt mit seinem Atomgewicht und mit der Dichte der Lagerung der Atome im Raume, wovon sein spezifisches Gewicht abhängt, und wenn man ferner bedenkt, daß die Härte der Sekundärstrahlen mit steigendem Atomgewicht abnimmt, so ist es wohl einleuchtend, daß Leder, Glas und Aluminium von diesem physikalischen Gesichtspunkte aus betrachtet, geeignete Materialien sind. Sie schwächen bei der Filtrierung die Gesamtstrahlung relativ wenig ab, lassen die harten Strahlen reichlich passieren und absorbieren die weichen in hohem Maße, wodurch die filtrierte Strahlung hart und homogen wird. Außerdem senden alle drei Substanzen noch eine harte Sekundärstrahlung aus, die sich zu der filtrierten Strahlung hinzuaddiert. Die Verhältnisse liegen beim Silber ganz anders. Das Silber hat ein sehr hohes Atomgewicht. Es absorbiert die Strahlen sehr stark, die weichen sowohl als die harten, die wir doch erhalten wollen. Auf dieser Eigenschaft des Silbers, harte und weiche Strahlen nahezu gleichmäßig zu absorbieren, beruht ja gerade seine Anwendung in dem Benoistschen Härtemesser und den anderen Instrumenten, die auf dem gleichen Prinzip beruhen.

Es wird deshalb von Benoist geradezu als aradiochroisches Metall bezeichnet. Auch Villard fand, daß es, in dünner Schicht zwischen eine Röntgenröhre und sein Radiosklerometer geschaltet, den Zeigerausschlag desselben nicht ändert.

Die mit dem Silberfilter angestellten Untersuchungen gaben diesen

Überlegungen recht. Schaltet man Silberfilter in den Strahlengang einer Röntgenröhre vom Typus B W 6 (H W 1,5) ein, so werden folgende Halbwertschichten abgelesen:

Tabelle 9.

Silberfilter	Halbwertschicht
0,02 mm	1,6
0,04 „	1,6
0,06 „	1,6
0,08 „	1,8
0,1 „	1,8–2,0
0.2 „	2,0
0,3 „	2.0

Man sieht, daß beim Silberfilter die Härtung im Vergleich zur Strahlenabsorption minimal ist. In der Schichtdicke, wie es von v. Jaksch empfohlen wurde (0.02 mm) findet eine Härtung von 1,5 bis 1,6 statt. Das ist so minimal, daß diese Filterwirkung praktisch ohne Bedeutung ist. Erst wenn man das Silberfilter auf die 10fache Stärke bringt (von 0,02 auf 0,2 mm), findet eine Härtung bis zur Halbwertschicht 2 statt. — Dieselbe Halbwertschicht erhalten wir bei Filtrierung mit 1 mm Aluminiumfilter. In dem ersten Falle, d. h. bei der Silberfiltrierung müssen wir aber 8mal so lange bestrahlen, als bei der Filtrierung mit Aluminium, Glas oder Leder, um denselben chemischen Effekt, z. B. den Sabouraudeffekt, zu bekommen. Wir schwächen also bei der Silberfiltrierung die Primärstrahlung 8mal stärker als bei der Filtrierung mit den übrigen Filtersubstanzen, wenn wir eine Strahlung von HW 1,5 auf H W 2 gehärtet haben. Da wir also mit dünnem Silberfilter in der Hauptsache nur die Strahlung abschwächen, ohne eine wesentliche Änderung im Sinne der Härtung zu erzielen, so muß der Hautschutz hier nur ein scheinbarer sein, vorgetäuscht durch Abschwächnng der Gesamtstrahlung. Der Umstand, daß in der Tat eine geringe Härtung durch Silberfilter — wenn auch erst in sehr dicken Filterdicken — zu erzielen ist, steht nicht in Widerspruch mit der von Walter betonten Beobachtung, daß die Angaben eines Härtemessers, der auf dem Benoistschen Prinzip beruht, durch Vorschalten eines Silberfilters geradezu sinken. Denn nach Walters Anschauung erhält ja die Strahlung durch die Filtration gerade die Eigenschaft, besonders leicht neue Schichten derselben Filtersubstanz zu durchdringen, also in seinem Versuch die Silberplatte des Härtemessers. Die Beobachtung, daß bei Vorschalten von Silberfiltern die Strahlung weicher wird, beruht also wohl nur auf dieser Eigenschaft des Härtemessers, in Wirklichkeit werden in der Tat die Strahlen etwas härter. Diese geringe Härtung steht aber in gar keinem Verhältnis zu der enormen Strahlenabsorption des Silberfilters, und deshalb ist die Behauptung, daß Silber ein unbrauchbares Filtermaterial für die Tiefentherapie ist, berechtigt.

Ziehen wir zum Schluß noch einmal das Fazit aus den angeführten Versuchen, so sehen wir, daß bei der Tiefenbestrahlung mit Strahlenfiltern

das primäre Strahlengemisch von großer Bedeutung ist; es muß möglichst viel harte Strahlen im Gemisch enthalten. In der Richtung der Erzeugung härterer Primärstrahlung mit genügender Intensität wird also die Entwicklung der Röntgentechnik für die Tiefentherapie vor allem fortzuschreiten haben. Die härteste Strahlung, die wir bei mittlerer Belastung von 1—2 M.A. im Dauerbetriebe mit einer Röhre erreichen können, hat eine Halbwertschicht von 1,5; bei intensiver Belastung von 10 M.A. können wir die Härte der primären Strahlung auf die Halbwertschicht 1,8 erhöhen. Es gelingt durch Vorschalten von Strahlenfiltern, die Strahlung weiter zu härten bis zur Halbwertschicht 2,5 (resp. etwas darüber). Diese Härtung erzielen wir nach unseren Erfahrungen bei einer mit mittlerer Belastung betriebenen Röhre mit 4 mm Aluminium, bei einer hoch belasteten Röhre schon mit 3 mm Aluminium. Ein Filtrieren der Strahlen über die Filterdicke 4 mm Aluminium hinaus hat keine wesentliche Erhöhung der Härte zur Folge, ist also zwecklos und wegen starker Abschwächung der Intensität unökonomisch. Wir sehen also, daß wir die günstigsten Strahlenbedingungen nach Christen nur bis zu einer Tiefenlage der zu bestrahlenden Organe von 2,5 cm erreichen können. Was die Frage des Filtermaterials anlangt, so ist es für die Wirkung gleichgültig, ob wir Aluminium, Glas oder Leder nehmen, wenn wir die photochemisch äquivalenten Dicken in ihrer biologischen Wirkung vergleichen, während Silber wegen seiner minimalen Härtung und starken Absorption ungeeignet erscheint. Die äquivalenten Filterdicken sind 1 mm Aluminium, 1,2 mm Glas und 13 mm Leder. Es wird also von Überlegungen mehr praktischer Natur abhängen, welchem Material wir den Vorzug geben wollen. Da hat das Leder den Nachteil, daß es für eine stärkere härtende Wirkung so dick genommen werden muß, daß die Größe und das Gewicht eines solchen Filters störend wirken müssen. Das Glas hat diesen Nachteil nicht, aber es ist zerbrechlich und außerdem sind die verschiedenen Glassorten in ihrer Zusammensetzung verschieden, so daß Vergleiche nicht ohne weiteres möglich sind. Dagegen hat das Aluminium keinen der Nachteile, die dem Leder und dem Glas anhaften. Es ist leicht, nicht zu dick in der stärksten mit Nutzen verwendbaren Schicht von 4 mm und es ist im Handel in stets gleicher Zusammensetzung zu haben. Deshalb geben wir den Aluminiumfiltern den Vorzug.

Literatur.

Albers-Schönberg, Die Röntgentechnik. Hamburg 1909.

Derselbe, Zur Technik gynäkologischer Röntgenbestrahlung. Fortschr. auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen, XIII, 3, S. 164.

Belot, Die Filtration in der Radiotherapie. Archives d'Electricité médicale Nr. 291. Ref. Fortschr. XVI, 1, S. 72.

Belot, Die Filter in der Radiotherapie. Journal de Radiologie 1911, Nr. 1. Ref. Fortschr. XVII, 2, S. 113.

Bordier, Wichtigkeit der Filter bei der Röntgentherapie und ihre praktische Anwendung. Annali di Elettricità medicae Terapia fisica. April 1909. Ref. Zeitschr. f. Röntgenkunde und Radiumforschung Bd. 12, 4, S. 153.

Derselbe, Du rôle des filtres en radiothérapie et de leur utilité pratique. Arch. d'électricité médicale 1909, Nr. 261. Ref. Fortschr. XIV, 1, S. 77.

Derselbe, Zur Wahl der Filter bei Tiefenbestrahlungen. Bull. et mém. vol. XXX. Ref. Fortschr. XIV, 1, S. 76.

Derselbe, Technique Radiothérapique. Paris.

Christen, Über die physikalischen und physiologischen Grundlagen der Tiefentherapie. Strahlentherapie Bd. 1, H. 1 u. 2.

Derselbe, Der absolute Härtemesser. Strahlentherapie, Bd. I, H. 3, S. 325.

Dessauer u. Wiesner, Leitfaden des Röntgenverfahrens 1912.

Dorn, Zur Tiefenbestrahlung mit Röntgenstrahlen. München. med. Wochenschr. 1909, Nr. 14, S. 697.

Fleig und Fränkel, Die Filtration der Röntgenstrahlen bei der Tiefenbestrahlung. Arch. d'électricité méd. 1909, vol. XVII, p. 243. Ref. Fortschr. XIV, 1, S. 74.

Gocht, Handbuch der Röntgenlehre. Stuttgart 1911.

Guilleminot, Die Wirkung von Aluminiumfiltern auf die X-Strahlen. Bulletins de la Société de radiologie de Paris 1909, Nr. 1. Ref. Fortschr. XIII, 5, S. 351.

Derselbe, Zur Wahl der Filter bei Tiefenbestrahlungen. Bull. et mém. vol. XXX. Ref. Fortschr. XIV, 1, S. 76.

Derselbe, Über die Filterwahl bei der Behandlung tiefgelegener Tumoren. Bull. de la Société de radiologie, Paris, vol. I, Nr. 5. Ref. Fortschr. XIV, 3, S. 224.

Derselbe, Bemerkungen zur Filtration der Röntgenstrahlen. Bull. et mém. de la Société de radiologie de Paris I, 10. Ref. Fortschr. XV, 1, S. 55.

Holzknecht, Die Lösung des Problems, in der Tiefe gleichviel und mehr Röntgenlicht zu applizieren, wie an der Oberfläche (Homogen- und Zentralbestrahlung). Verhandlungen der Deutschen Röntgengesellschaft 1908, Bd. IV.

v. Jaksch, Vortrag im Verein deutscher Ärzte in Prag. Sitzung v. 19. Februar 1909. Ref. Fortschr. XIII, 5, S. 344.

Derselbe, Über die Verwendung von Strahlenfiltern in der Radiotherapie, Radioskopie und Radiographie. Zentralblatt für Röntgenstrahlen, Radium und verwandte Gebiete 1912, H. 8, S. 291.

Derselbe, Über Metallfilter. Verhandlungen der Deutschen Röntgengesellschaft Bd. VIII, S. 71.

Jaubert de Beaujeu, Über die Methode von Klingelfuß für die Messung der Quantitäten der X-Strahlen. Archives d'Electricité médicale experimentales et cliniques, 25 Mai 1910, Nr. 286. Verhandlungen der Deutschen Röntgengesellschaft, Bd. VII, S. 130.

Kienböck, Radiotherapie. Stuttgart 1907.

Klingelfuß, Die Einrichtung zur Messung der Röntgenstrahlen mit dem Sklerometer. Jahresversammlung der Schweizerischen naturforschenden Gesellschaft in Basel 1910. Autoref. Fortschr. XVI, 1, S. 64.

Derselbe, Über Messung und Dosierung der Röntgenstrahlen in absoluten Einheiten. 4. Internationaler Kongreß für medizinische Elektrologie und Röntgenologie. Ref. Fortschr. XII, 6, 430.

Klingelfuß, Die Änderung der Röntgenstrahlenhärte durch die elektrische Spannung bei einer Röntgenröhre. Verhandlungen der Deutschen Röntgengesellschaft, Bd. V.

Meyer, Die Grundlagen der Röntgentherapie in der Gynäkologie. Strahlentherapie, Bd. I, H. 3, S. 381.

Meyer und Ritter, Zur Methodik der qualitativen Strahlenmessung in der Röntgentherapie. Berliner klin. Wochenschr. 1912, Nr. 2.

Dieselben, Experimentelle Untersuchungen zur biologischen Strahlenwirkung. Strahlentherapie, Bd. 1, H. 1 u. 2.

Morton, Die Zweckmäßigkeit von Filtern in der Radiotherapie. American Quarterly of Röntgenology I, Nr. 3. Ref. Fortschr. XII, 1, S. 73.

Perthes, Versuch einer Bestimmung der Durchlässigkeit menschlicher Gewebe für Röntgenstrahlen mit Rücksicht auf die Bedeutung der Durchlässigkeit der Gewebe für die Radiotherapie. Fortsch. VIII, S. 12.

Pfahler, Ein Röntgenstrahlenfilter und ein Universaldiaphragma und Schutzschirm. The Archives of Physiological Therapy, Nov. 1905. Ref. Fortschr. X, 1, S. 71.

Pfahler und Schamberg, Weitere Beobachtungen über ein Röntgenstrahlenfilter. American Quarterly of Röntgenology. Ref. Fortschr. XI, 3, S. 224.

Walter, Über das Röntgensche Absorptionsgesetz und seine Erklärung. Fortschr. VIII, S. 302.

Derselbe, Über die Erzeugung harter Röntgenstrahlen zur therapeutischen Bestrahlung innerer Organe. Verhandl. der Deutschen Röntgengesellschaft, Bd. III, S. 110.

Wetterer, Handbuch der Röntgentherapie 1908.

Derselbe, Zwei neue Instrumente zur qualitativen und quantitativen Messung der X-Strahlen. Röntgentaschenbuch II, 1909.

Verhandlungen der Deutschen Röntgengesellschaft, Bd. VIII, S. 73—76, Diskussion.

Lebenslauf.

Ich, Gunter Schatz, ev.-luth. Konfession, wurde am 4. Januar 1888 als Sohn des Geheimen Medizinalrats Professor Dr. Schatz zu Rostock i. M. geboren. Ich besuchte das Gymnasium dort und erlangte das Zeugnis der Reife am 22. Februar 1906. Dann studierte ich Naturwissenschaften und Medizin an den Universitäten Lausanne, Rostock, Halle, München, Kiel, Straßburg. Das medizinische Vorexamen bestand ich in Halle am 27. Juli 1909, das Staatsexamen in Kiel am 17. Juni 1912.